

М.: Прогресс, 1966. – 512 с.

Получено 25.02.2009

УДК 656.11.021.2

Е.М.ГЕЦОВИЧ, д-р техн. наук, Д.В.ЗАСЯДЬКО

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ТРАНЗИТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ДЕЛОВОЙ ЧАСТИ ГОРОДА**

Рассматривается вопрос определения величины транзитных транспортных потоков в центральной деловой части города. Предлагается способ расчёта транспортных корреспонденций, проходящих через центральную деловую часть города с использованием модифицированной гравитационной модели.

Увеличение количества автомобилей на улицах крупных городов при отставании темпов роста пропускной способности улично-дорожной сети приводит к возникновению транспортных заторов. В городах, имеющих радиальную и радиально-кольцевую планировочную структуру ситуация осложняется тем, что значительная часть транспортных корреспонденций осуществляется по маршрутам, проходящим через центральную деловую часть города, даже если центр города не является целью или отправной точкой поездки. При этом по различным причинам расширение улиц и прокладывание новых проездов в центральной части городов затруднено или невозможно, поскольку, как правило, требуется снос зданий и сооружений [1, 2].

Уменьшить количество транспорта в центре можно, вводя запреты на движение определённым видам транспорта, например, грузовым автомобилям или введением платы за проезд по центральной деловой части города (ЦДЧГ). Но это лишь частично решает проблему [1-3].

В городах с радиально-кольцевой планировкой эффективным путём уменьшения количества автомобилей в центре представляется переориентация транзитных транспортных потоков между периферийными районами по условно-кольцевым путям. Для проектирования условно-кольцевых связей необходимо определить величины этих потоков и их направления.

При традиционном подходе к моделированию улично-дорожной сети города и поведения транспортных потоков на ней предполагается разделение всей территории города на транспортные районы и получение информации обо всех транспортных районах и участках сети [1-4].

Для расчёта потоков в ЦДЧГ видится более целесообразным разделение территории города на более укрупнённые части – «мегарайоны» таким образом, чтобы каждый периферийный мегарайон имел непосредственную связь с ЦДЧГ. На границе ЦДЧГ на въездах назначаются посты учёта проезжающих в центр и из центра автомобилей.

Предполагается, что по разности количества въезжающих и выезжающих автомобилей можно определить ёмкость центральной части по прибытию и отправлению автомобилей, а также на основе этих данных – рассчитать параметры транзитных потоков.

Таким образом, видоизменённый по сравнению с описанным в [1] алгоритм расчётов матрицы транспортных корреспонденций применительно к потокам в ЦДЧГ предлагается следующий:

- разделение территории города на ЦДЧГ и отдельные «мегарайоны», связанные с ней условно-радиальными магистралями;
- назначение условных центров тяготения (ЦТ) в «мегарайонах»;
- расчёт кратчайших маршрутов между ЦТ «мегарайонов» по критерию минимального расстояния и времени поездки;
- расчёт функции тяготения между «мегарайонами»;
- выполнение замеров количества въезжающих и выезжающих автомобилей на границах ЦДЧГ;
- расчёт матрицы корреспонденций через ЦДЧГ по гравитационной модели.

Эксперимент проводился на территории центральной части Харькова. На основных въездах и выездах в ЦДЧГ были расставлены проинструктированные учётчики. Места расположения постов указаны в табл.1.

Замеры проводили в понедельник, вторник и среду утром с 8:00 до 10:00 и вечером с 16:00 до 18:00 с разделением на интервалы по 20 мин. и поинтервальным учётом количества автомобилей, проехавших в центр (табл.1) и из центра (табл.2).

С помощью разделения периода учёта на отдельные интервалы предполагалось отследить колебания интенсивности потока в течение времени учёта, но после обработки результатов выяснилось, что несмотря на наличие колебаний интенсивности, ярко выраженных пиковых интервалов нет.

В утренние часы наблюдалось превышение суммарного количества въезжающих в центральную часть автомобилей над суммарным количеством выезжающих. В вечернее время – наоборот.

Это даёт основание предположить, что разность между количеством въезжающих и выезжающих автомобилей в утренний период при-

мерно равна ёмкости центральной части по поглощению, если предположить, что ёмкость по отправлению примерно равна нулю (пренебрегая небольшим количеством автомобилистов, проживающих в центре, а работающих на периферии). Соответственно, для вечернего времени разность между количеством убывших и прибывших автомобилей можно принять как ёмкость по отправлению, если предположить, что ёмкость по прибытию примерно равна нулю.

Таблица 1 – Результаты обследования входящих потоков

Место расположения поста	День 1		День 2		День 3	
	утро	вечер	утро	вечер	утро	вечер
Просп. Ленина – ул. Бакулина	1552	2304	1590	2333	1905	1933
Ул. Университетская (мост)	2228	1511	2150	1584	2267	1457
Ул. Сумская – ул. Веснина	1249	1400	1252	1333	1297	1530
Спуск Пассионарии (со стороны моста)	3729	2930	3450	2944	3759	2562
Ул. Маршала Бажанова – ул. Шевченко (мост)	2119	1678	2175	1752	2098	2110
Ул. Шевченко (возле Белгородского спуска)	2835	1787	2955	1838	3051	2125
Ул. Красноармейская – ул. Полт. Шлях	2422	1628	2330	1755	2043	1688
Просп. Московский – Красношкола́ная наб.	3034	2666	2801	2711	2986	2642
Ул. Гамарника (мост)	2394	2035	2154	2014	2518	1682
Ул. Пушкинская – ул. Веснина	2983	3344	3157	3306	3497	3461
Ул. Клочковская (возле спуска Пассионарии)	3412	3147	3347	3349	3512	3295
Всего, авт./период	27957	24430	27361	24919	28933	24485

Таблица 2 – Результаты обследования выходящих потоков

Место расположения поста	День 1		День 2		День 3	
	утро	вечер	утро	вечер	утро	вечер
Просп. Ленина – ул. Бакулина	2219	1458	2146	2467	1694	2105
Ул. Университетская (мост)	2251	1501	2040	2053	2184	1452
Ул. Сумская – ул. Веснина	805	1504	846	1474	850	1594
Спуск Пассионарии (со стороны моста)	2940	2792	2656	2708	2589	2831
Ул. Маршала Бажанова – ул. Шевченко (мост)	1363	1337	1347	1173	1435	1503
Ул. Шевченко (возле Белгородского спуска)	1663	2509	1627	2555	1586	2615
Ул. Красноармейская – ул. Полт. Шлях	802	1101	898	1091	795	810
Просп. Московский – Красношкола́ная наб.	2331	2809	2311	2816	2284	2761
Ул. Гамарника (мост)	899	984	757	993	775	936
Ул. Пушкинская – ул. Веснина	3054	3558	3292	3041	3235	3711
Ул. Клочковская (возле спуска Пассионарии)	2920	3994	2904	3776	2914	3940
Всего, авт./период	21247	23547	20829	24147	20341	24258

Периферийные районы и центральная деловая часть города при предлагаемом транспортном районировании представляются как «мега-район» (совокупность обычных транспортных районов).

Центральная деловая часть была ограничена железной дорогой, ул.Клочковской, ул.Бакулина, ул.Веснина, ул.Шевченко, Красношкольной наб, Нетеченской наб., ул. Маршала Конева.

Остальная территория города была условно разделена на девять периферийных мегарайонов:

- 1) Холодная Гора, Красный Октябрь, Лысая гора;
- 2) западная часть Дзержинского района;
- 3) восточная часть Дзержинского района;
- 4) Пятихатки, восточная часть Киевского района;
- 5) Западная часть Киевского района;
- 6) Московский, Орджоникидзевский и Фрунзенский районы;
- 7) Коминтерновский и Червонозаводский районы;
- 8) Западная часть Червонозаводского и восточная часть Октябрьского района;
- 9) Октябрьский район и южная часть Ленинского района, Залютино.

Деление на мегарайоны выполнено таким образом, чтобы в каждом мегарайоне была основная радиальная магистраль, связывающая его с центром, например ул. Полтавский Шлях или проспект Ленина. Условный центр тяготения «мегарайона» назначается в геометрическом центре при равномерной застройке или, при наличии явно выраженных объектов транспортного тяготения вблизи таких объектов.

Далее для определения величины транзитных потоков рассчитывается матрица корреспонденций по гравитационной модели [1-3]. При этом внутренние корреспонденции мегарайонов и корреспонденции, осуществляющиеся за пределами ЦДЧГ, не учитываются.

Для каждой пары мегарайонов определяются кратчайшие по времени или расстоянию маршруты следования. При этом выясняется, проходит ли этот маршрут через ЦДЧГ. Если такой маршрут из района  $i$  в район  $j$  проходит за пределами ЦДЧГ, то в расчётах потоков в ЦДЧГ корреспонденция между этими районами не учитывается и функция тяготения принимается равной нулю.

В отличие от обычного порядка расчётов по гравитационной модели объёмы отправления и прибытия для периферийных районов принимаются равными сумме входящих и, соответственно, исходящих потоков.

$$\begin{aligned}HO_i &= N_i^{exod}; \\ HP_j &= N_j^{vychod}.\end{aligned}\tag{1}$$

Для ЦДЧГ в утренние часы

$$\begin{aligned} HO_i &\approx 0; \\ HP_j &\approx \sum N^{\text{вход}} - \sum N^{\text{выход}} \end{aligned} \quad (2)$$

и в вечерние часы

$$\begin{aligned} HO_i &\approx \sum N^{\text{выход}} - \sum N^{\text{вход}}; \\ HP_j &\approx 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Расчёты ведутся для двухчасового интервала времени.

Ещё одна важная часть гравитационной модели – функция тяготения. Было рассмотрено несколько известных видов функции тяготения, учитывающих расстояние между районами, описанных в [4-7], а также более сложные модели, учитывающие наблюдаемые значения интенсивности потоков на отдельных участках сети [8, 9] и сегментирования поездок в зависимости от целей [10].

Предлагается для корреспонденций, реализующихся за пределами ЦДЧГ, и внутрирайонных корреспонденций принять функцию тяготения равной нулю, а для остальных случаев применить экспоненциальную зависимость тяготения между районами от расстояния между ними в виде:

$$D_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } L_{ij}^{\text{ЦДЧГ}} > L_{ij}^{\text{объезд}} \text{ или } i = j; \\ a \cdot e^{-\frac{(L_{ij} - L_{cp})^2}{c}}, & \text{в других случаях,} \end{cases} \quad (4)$$

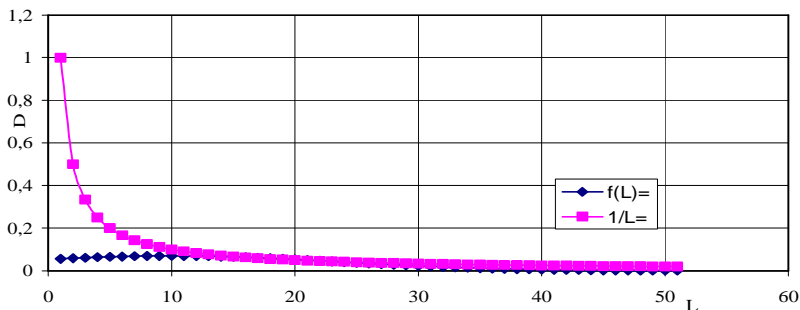
где  $a$ ,  $c$  – варьируемые коэффициенты, учитывающие влияние самой функции тяготения на величину корреспонденции по сравнению с другими факторами (объёмами отправления и прибытия);  $L_{cp}$  – среднее расстояние поездки, км;  $L_{ij}$  – расстояние между транспортными «мега-районами», км.

Значения коэффициентов  $a$  и  $c$  подбирались с тем, чтобы вид функции тяготения при значении расстояния между «мега-районами», большем, чем среднее расстояние поездки, соответствовал традиционной функции

$$D_{ij} = 1/L_{ij}. \quad (5)$$

При среднем расстоянии поездки, равном 10 км, значения коэффициентов получились равными  $a = 0,0589$  и  $c = 1087,32$ .

В отличие от вида функции тяготения как величины, обратной расстоянию, при котором возникают большие погрешности на малых расстояниях, в частности, при небольших расстояниях до 1 км, когда с уменьшением расстояния резко возрастает тяготение между районами, в предлагаемом варианте принято, что при уменьшении расстояния после определённого предела тяготение между районами уменьшается. Такой подход аргументируется тем, что на небольшие расстояния (менее 1 км) поездки автомобилем практически не осуществляются. Различие в функциях представлено на рисунке.



Сравнение функций тяготения

Дальнейший расчёт матрицы корреспонденций проводится по известному алгоритму [3].

Вначале составляется вспомогательная матрица  $Z$ , элементы которой определяют по формуле

$$z_{ij} = D_{ij} \cdot HP_j, \quad (6)$$

потом рассчитывают предварительный вариант матрицы корреспонденций

$$h_{ij} = z_{ij} \cdot HO_i / \sum_{j=1}^n z_{ij}. \quad (7)$$

Далее вычисляют погрешности расчёта матрицы как отклонения суммы корреспонденций, прибывающих в данный «мегарайон», от величины ёмкости прибытия в данный «мегарайон». Расчёт ведут для всех «мегарайонов», включая ЦДЧГ.

$$E_j = \frac{HP_j - \sum_{i=1}^n h_{ij}}{HP_j} \cdot 100. \quad (8)$$

В случае значительных отклонений пересчитывается матрица  $Z$ . Новые значения элементов ( $z'_{ij}$ ) матрицы  $Z$  рассчитывают по формуле

$$z'_{ij} = z_{ij} \frac{HP_j}{\sum_{i=1}^n h_{ij}}. \quad (9)$$

Далее пересчитывается матрица корреспонденций с новыми значениями  $z'_{ij}$  как

$$h_{ij} = z'_{ij} \frac{HO_i}{\sum_{j=1}^n z'_{ij}} \quad (10)$$

и снова рассчитывается погрешность по формуле (8).

Достаточная точность достигается уже после третьей итерации.

Значения объёмов отправления и прибытия для периода с 8:00 по 10:00 понедельника показаны в табл.3. Результаты расчёта матрицы корреспонденций приведены в табл.4.

Таблица 3 – Части ёмкостей транспортных районов, взаимодействующие через ЦДЧГ

Район	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$HP_{ij}$	2940	2920	2219	805	4717	3694	899	2251	802	6710
$HO_{ij}$	3729	3412	1552	1249	5818	5153	2394	2228	2422	1

Таблица 4 – Матрица корреспонденций в ЦДЧГ для периода 8:00-10:00 понедельника

$H'_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,0	470,2	299,0	161,7	1210,9	903,1	184,9	0,0	0,0	499,2
2	531,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1090,7	240,4	551,7	131,7	866,2
3	188,5	0,0	0,0	0,0	0,0	525,1	108,4	228,4	51,0	450,7
4	215,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	139,4	308,2	64,3	521,2
5	1168,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1853,6	366,6	2429,4
6	1165,9	1246,4	1075,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	283,6	1381,4
7	441,8	508,6	410,9	249,5	0,0	0,0	0,0	0,0	124,7	658,5
8	0,0	295,3	219,1	139,6	1161,9	0,0	0,0	0,0	0,0	412,0
9	0,0	274,6	190,7	113,5	895,3	517,6	122,9	0,0	0,0	307,3
10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0

Предлагаемый метод расчёта матрицы корреспонденций на транспортной сети центральной деловой части города отличается тем, что:

- нет необходимости дробить город на множество мелких транспортных районов;

- части ёмкостей мегарайонов, корреспондирующих через ЦДЧГ, определяются проще и точнее, чем ёмкости отдельных транспортных районов;
- предложенная функция тяготения отличается от существующих тем, что более полно учитывает влияние расстояния на величину корреспонденции, особенно на небольших расстояниях;
- метод разработан специально для расчёта потоков в ЦДЧГ.

Дальнейшие исследования следует направить на уточнение вида функции тяготения путём увеличения числа факторов, влияющих на её вид.

1.Брайловский Н.О., Грановский Б.И. Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.

2.Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.

3.Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

4.Михайлов А.Ю., Головных И.М. Оценка существующей матрицы корреспонденций на основе данных интенсивности движения // Вестник КГТУ. Вып.35. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – С.191-199.

5.Дубровский В.В. Функция тяготения населения по трудовым целям // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов. Вып.6. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2001. – С.22-24.

6.Toshio Yoshii Masao Kuwahara Estimation of a Time Dependent OD Matrix from Traffic Counts Using Dynamic Traffic Simulation Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 1997. – pp.41-49.

7.Oneyama, H., Kuwahara, M & Yoshii, T. “Estimation of a Time Dependent OD Matrix from Traffic Counts”, The Third Annual World Congress on Intelligent Transport Systems ‘96 Orlando. – pp.33-41.

8.Yoshii, T & Kuwahara, M. “Development of Traffic Network Simulation Model for Oversaturated Traffic Flow on Urban expressways”, Traffic Engineering Vol.30, No.1, 1995. – pp.33-41.

9.Sheffi, Y. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice Hall, 1985. – p.117, web.mit.edu.

10.Лозе Д. Моделирование транспортного предложения и спроса на транспорт для личного и служебного автотранспорта – обзор теорий моделирования, Дрезденский Технический Университет. Институт транспортного планирования и дорожного движения, 2007 // www.ptv-vision.de.

*Получено 17.02.2009*

УДК 519.85

А.В.БЕЛОГУРОВА, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **АЛГОРИТМ УМЕНЬШЕНИЯ ЗАТРАТ НА ДОСТАВКУ ГРУЗА В КРАТЧАЙШИЕ СРОКИ**

Рассматривается транспортная задача, оптимизируемая по времени доставки груза от источников к потребителям. Предлагается математическая модель задачи доставки